https://doi.org/10.4322/CBPAT.2022.089

ESTUDO DE PARÂMETROS DE ELETRÓLITOS DA SOLUÇÃO DO PORO EM CONCRETOS SUBMETIDOS AO ATAQUE POR CLORETOS OU POR CARBONATAÇÃO: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA – UM RECORTE TEMPORAL 2015-2022

Aloísio Fernando Santos[1]; Andrielli Morais de Oliveira[2*]; Oswaldo Cascudo[2]

*andriellimorais@ufg.br

[1]Eletrobrás Furnas, GST.E, Rodovia BR 153, km 510, P.O. Box 457, 74001-970, Aparecida de Goiânia, Goiás, Brasil.
[2]Laboratório de Inovação Tecnológica em Construção Civil- LABITECC, Escola de Engenharia Civil e Ambiental – EECA, Programa de Pós-Graduação em Estruturas, Geotecnia e Construção Civil - PPGGECON, Universidade Federal de Goiás - UFG, Avenida Universitária, 1488, CEP 74605-220, Goiânia, Goiás, Brasil.

RESUMO

Estudos mais recentes vêm apresentando que a durabilidade do concreto armado está relacionada à sua capacidade química em manter o meio alcalino por meio da solução aquosa dos poros. Na ausência de agentes agressivos, a película de passivação das barras de aço mantém-se estável. No entanto, na presença de cloretos ou sobre os efeitos da carbonatação, essa proteção pode ser interrompida e iniciado o processo de corrosão. Como consequência, pode ocorrer redução do desempenho e da vida útil das estruturas de concreto. Diante deste fato, o objetivo do artigo é apresentar os principais parâmetros físico-químicos de caracterização de solução do poro em concretos com e sem adições minerais, submetidas ao ataque por cloretos ou por carbonatação. Para tanto, fez-se uso de uma revisão sistemática da literatura com *strings* específicas de busca em quatro principais bases científicas (*Scopus, ScienceDirect, Engineering Village e Web of Science*). Como resultado obtido, constatou-se que informações sobre potencial hidrogeniônico - pH, resistividade elétrica, força iônica, condutividade elétrica e quantidade de íons em solução foram os principais parâmetros mencionados pela literatura. Estes parâmetros podem ser associados a durabilidade do concreto armado. Além disso, para determinação desses parâmetros, uma variedade de métodos de extração de solução do poro foi evidenciada nos trabalhos encontrados.

Palavras-chave: solução do poro, concreto, cloretos, carbonatação, métodos de extração.

ABSTRACT

More recent studies have shown that the durability of reinforced concrete is related to its chemical capacity to maintain the alkaline medium through the aqueous solution of the pores. In the absence of aggressive agents, the passivation film of steel bars remains stable. However, in the presence of chlorides or under the effects of carbonation, this protection can be interrupted and the corrosion process begins. So, the performance and service life of concrete structures can be reduced. Thus, the aim of this paper is presenting the main physicochemical parameters of pore solution characterization in concrete with and without mineral additions, subjected to attack by chlorides or

by carbonation. For this purpose, a systematic literature review was used with specific search strings in four main scientific databases (Scopus, ScienceDirect, Engineering Village and Web of Science). As a resulto of this, it was found that information on hydrogenic potential - pH, electrical resistivity, ionic strength, electrical conductivity and amount of ions in solution were the main parameters mentioned in the literature. These parameters can be associated with the durability of reinforced concrete. Furthermore, for the determination of these parameters, a variety of methods for extracting solution from the pore was evidenced in the papers found.

Keywords: pore solution, concrete, chlorides, carbonation, extraction methods.

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas sobre a parte líquida contida nos poros do concreto são essenciais, pois a sua composição, concentração e propriedades podem refletir processos de hidratação cimentícia e sua cinética e determinar quais fases sólidas são estáveis e podem precipitar e quais fases são instáveis e podem se dissolver. Além disso, estudos da solução de poros do concreto contribuem para a compreensão dos mecanismos e efeitos negativos, causados por agentes agressivos (VOLLPRACHT *et al.*, 2016), tais como cloretos ou carbonatação. Estes agentes agressivos podem alterar eletrólitos na solução dos poros do concreto e também parâmetros interessantes destas soluções, como pH, composição química, força iônica, condutividade elétrica, entre outros (CHERIF *et al.*, 2017; (OGUNSANYA, HANSSON, 2018; SUI *et al.*, 2019; PARK, 2020; CASCUDO *et al.*, 2021).

Resultados da literatura associam iniciação e passivação de armaduras no concreto a solução de seus poros e isto evidencia uma durabilidade química mínima requerida nestes concretos (MORENO *et al.*, 2004; WILLIAMSON *et al.*, 2016; ZHENG *et al.*, 2020; CASCUDO *et al.*, 2021; JIN *et al.*, 2022). Yong *et al.* (2020) relacionaram profundidades de penetração de cloretos a diferentes interações com os íons presentes nas soluções dos poros do concreto.

No que tange à presença de adições minerais, é de conhecimento a alteração da matriz cimentícia hidratada, as mudanças na condutividade da solução do poro do concreto e sua resistividade elétrica superficial aparente (OLIVEIRA; CASCUDO, 2018).

Nesse sentido, para análise química da água do poro do concreto, vários autores utilizaram métodos de extração *ex situ*, embora não há um procedimento normalizado para a extração da solução de poro do concreto no Brasil (LI *et al.*, 2005; CIR *et al.*, 2008; PIRES, 2016; OLIVEIRA, 2020; VIEIRA *et al.*, 2020; CASCUDO *et al.*, 2021).

Dessa forma, este artigo avança com a identificação, análise e correlação de parâmetros físico-químicos da solução do poro do concreto, expostos a ambientes com cloretos ou gás carbônico. Assim, é objetivo deste artigo conduzir uma revisão sistemática da literatura para identificar e caracterizar os principais parâmetros químicos e físicos da solução do poro do concreto, como marcadores e indicadores de durabilidade.

Destaca-se que a revisão sistemática da literatura – RSL é uma ferramenta útil, uma vez que proporciona a reunião, a organização e a posterior avaliação das informações disponíveis, a partir de pesquisas anteriores e, em sequência, a consolidação dessas informações. A categorização de informações por meio de RSL tem sido utilizada em vários trabalhos científicos e em várias áreas do conhecimento (KHAN *et al.*, 2001; PETERSEN *et al.*, 2008; ASHMED *et al.*, 2021; OLENA, *et al.*, 2021; LI *et al.*; 2022).

2. METODOLOGIA

Baseando-se na metodologia proposta por Tranfield, Denyer e Smart (2003) e Kitchenham e Charters (2007), a RSL foi empregada em três etapas: planejamento, condução e análise.

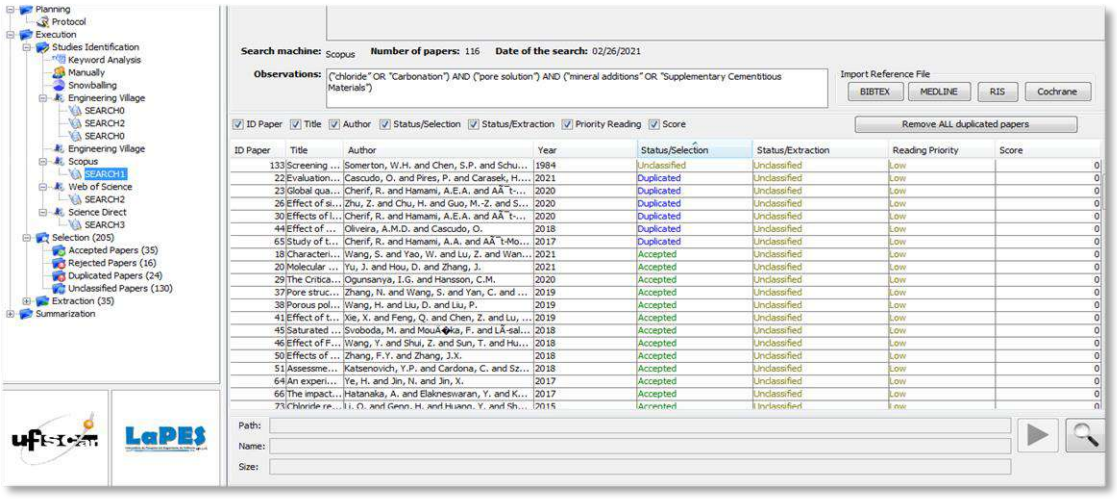
Na etapa de planejamento da pesquisa, foram definidos o tema, as palavras chaves, a *string* de busca e as bases de dados. A princípio, foi definida a pergunta principal que estabeleceu o espaço da pesquisa e a abrangência do tema: “Quais são as alterações químicas e físicas na solução do poro do concreto com o uso de adições minerais, quando submetidos a ensaios de penetração de cloretos ou ensaios acelerados de carbonatação, combinados ou não?”.

Para a realização da busca identificando os artigos mais relevantes, foram escolhidas as palavras chaves, na tentativa de se obter a resposta desejada nas pesquisas, sendo elas: concreto, cloretos, carbonatação, extração da solução, adições minerais, materiais suplementares e solução do poro.

A partir dessas palavras-chave, a *string* utilizada nas buscas que se obteve maior resposta foi*: (“chloride” OR "Carbonation") AND (“pore solution”) AND (“mineral additions” OR "Supplementary Cementitious Materials").*As pesquisas foram realizadas por trabalhos científicos encontrados na base de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), em que foram realizadas buscas em quatro bases de dados selecionadas, a saber: *Engineering Village, ScienceDirect, Scopus e Web of Science*, tendo-se como foco as publicações mais atuais e internacionais (2015 a 2022).

Após a pesquisa e seleção de artigos nas bases de dados utilizando as *strings* escolhidas, foram identificadas as informações relativas aos artigos (título, autores, resumo, palavras-chave, ano de publicação), para isso as buscas foram exportadas para o *software* “StArt”, uma ferramenta gratuita desenvolvida pela UfScar (Universidade Federal de São Carlos) para ordenar e auxiliar na categorização bibliográfica das pesquisas, facilitando o mapeamento sistemático. A interface do *software* é ilustrada pela Figura 1.

Figura 1 - Interface do aplicativo “StArt”.



No *software* “StArt” foi possível compilar todos os dados dos artigos científicos, obtidos na pesquisa pelas bases de dados e inserir critérios de exclusão e inclusão para leitura completa dos artigos, tanto de revistas científicas quanto de congressos científicos. Procurou-se selecionar artigos

mais atuais, portanto, definiu-se os anos de 2015 a 2022. Esse intervalo de tempo foi definido para obter informações mais recentes sobre o assunto e restringindo-se a base de dados.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Dados bibliométricos

Como resultado de dados bibliométricos, foram obtidos 207 trabalhos científicos (Tabela 1). Na sequência, 129 trabalhos científicos foram excluídos por leitura de título e resumo não plenamente aderidos ao tema do artigo, por artigos duplicados e por artigos indisponíveis. Menciona-se que os artigos duplicados foram destacados pelo aplicativo e excluídos manualmente. Assim, inicialmente, foram selecionados 78 artigos para processo de *downloads* dos arquivos de artigos, buscado o texto completo que concordaram com o critério de inclusão.

Em destaque, durante a leitura dos artigos completos, o critério de exclusão, levou em consideração a temática abordada pelos artigos, as análises químicas realizadas, os autores, os países, o ano de publicação, os periódicos que os artigos foram veiculados e seus respectivos fatores de impacto. Por fim, todos os artigos que não mantinham alguma relação com os métodos para a caracterização química das soluções dos poros foram excluídos. Da mesma forma, artigo com foco em componentes químicos específicos, como polímeros e aditivos; artigo com foco apenas em durabilidade; artigos com foco em outras patologias (sulfatos e álcali-agregado); avaliação da carbonatação natural e ataque por cloretos *in loco* e artigos com foco em monitoramento eletroquímico do processo de corrosão; artigos relacionados com concreto protendido, com agregados reciclados ou sintéticos, com fibras ou com algum tipo de proteção superficial foram excluídos. Por fim, no total, permaneceram 46 artigos totalmente aderidos que serviram de base para o mapeamento sistemático (Tabela 1).

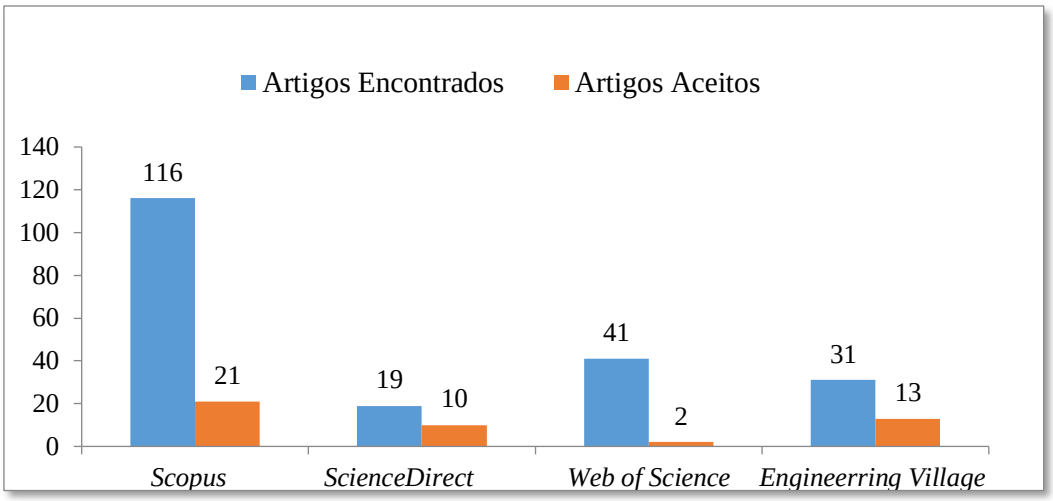
Tabela 1 – Resultado da busca.

Etapa	Quantidade
Resultado das buscas	207
Artigos Duplicados	-22
Exclusão por título	-32
Exclusão por resumo	-69
Artigos não disponíveis	-6
Exclusão por leitura	-32
Artigos aderidos	**46**

As análises dos critérios de inclusão e aderência final a presente pesquisa estiveram ligadas aos artigos que abordaram a carbonatação e/ou ataque por cloretos, que pesquisaram as formas de extração da solução do poro e analisaram quimicamente este líquido intersticial ou que abordavam algum parâmetro de análise química e física da solução do poro: pH, condutividade, força iônica, alcalinidade e análise elementar ou iônica do eletrólito. Para artigos relacionados ao estudo da solução do poro, não foram obtidos artigos que trataram das duas patologias combinadas.

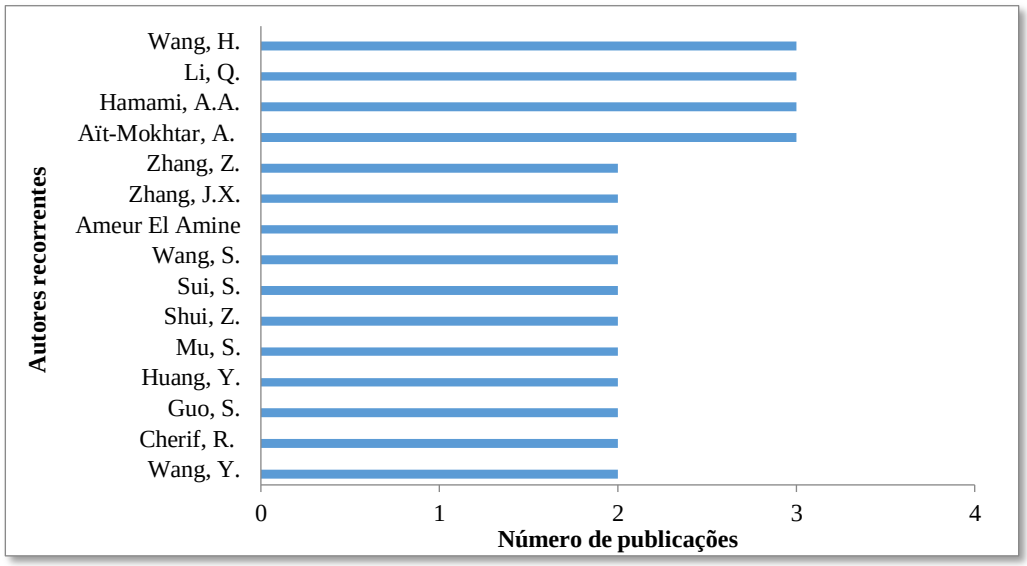
O maior número de artigos para *download* e selecionados foi por meio da base *Scopus*, seguido pela *Science Direct e Engineering Village* e, por fim, *Web of Science*. Na base *Scopus* foram obtidos 116 resultados, mas apenas 21 estavam diretamente relacionados ao tema e trouxeram alguma contribuição para a pesquisa. Nas outras bases o motivo da exclusão foi o mesmo.

Figura 2 – Número de artigos baixados e selecionados para cada base de busca.



Dentre todos os 46 artigos aderidos, 15 autores apresentam autoria em mais de um artigo. Quatro autores tiveram o maior número de publicações, como autoria principal ou coautoria de artigos: Wang, H.; Li, Q.; Hamami, A. A e Aït-Mokhtar, A. Os dois primeiros são autores chineses e os seguintes franceses de diferentes instituições. Os demais autores apresentaram duas publicações, como ilustra a Figura 3.

Figura 3– Autores mais recorrentes e suas publicações em periódicos internacionais.

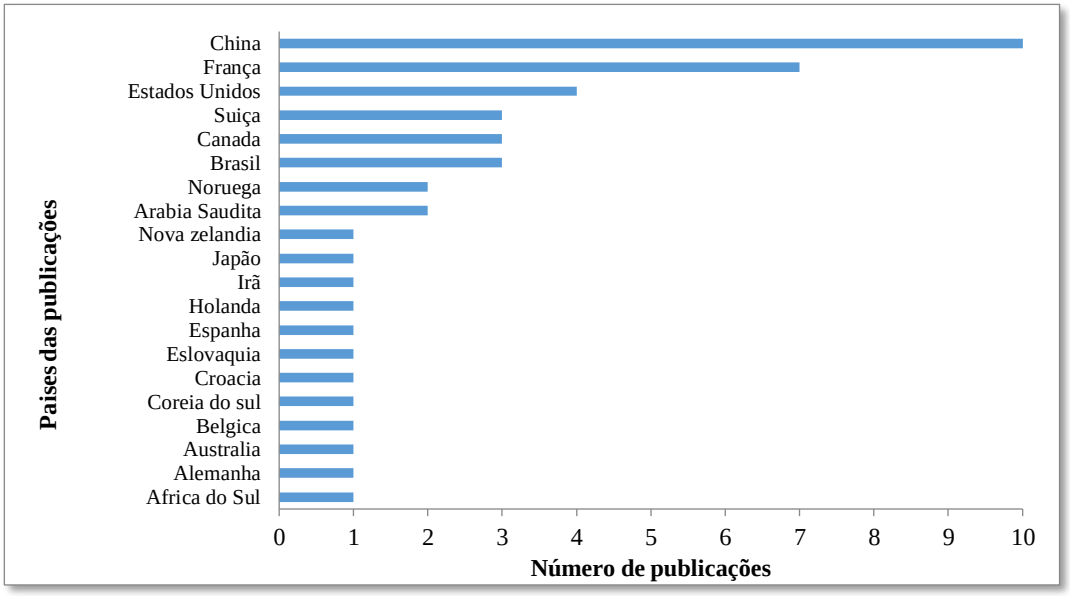


Os países onde as pesquisas foram realizadas e a origem dos pesquisadores estão apresentados na Figura 4. O resultado mostra que foram 20 países estão envolvidos nas pesquisas. Adicionalmente, a China liderou o *ranking* de publicações com 10 publicações, seguida pela França com 7 publicações. Os dados confirmam a afirmações encontradas nas literaturas de que a China é atualmente o maior produtor de artigos científicos no mundo, conforme encontrado pelo *Science and Engineering Indicators* 2020 da *National Science Foundation*.

Outro fato interessante é que o Brasil também foi citado, estando entre os 5 países com maior

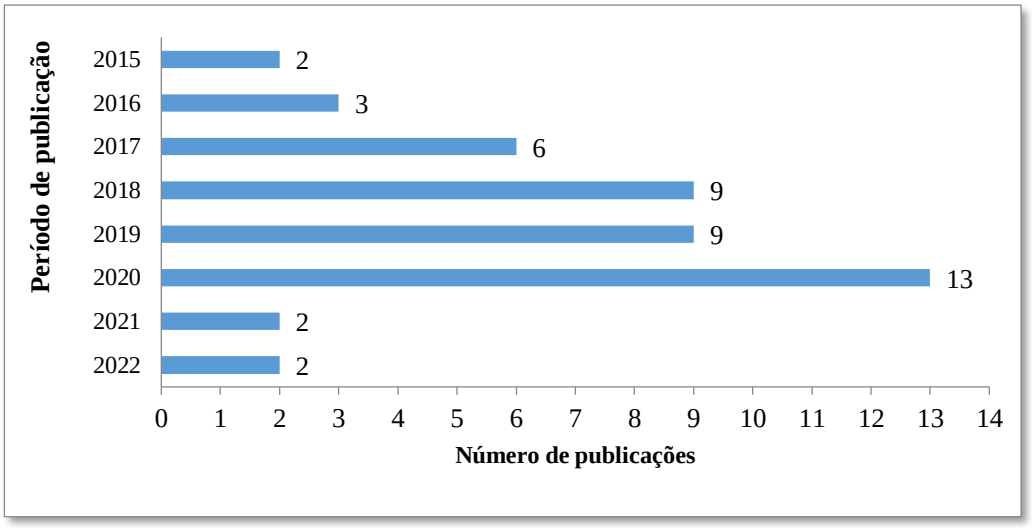
número de publicações. Nesse estudo específico, foram encontradas três publicações nacionais sobre o tema, com duas publicações vindas do estado de Goiás (Universidade Federal de Goiás e uma do estado de São Paulo.

Figura 4– Classificação por país em número de publicações.



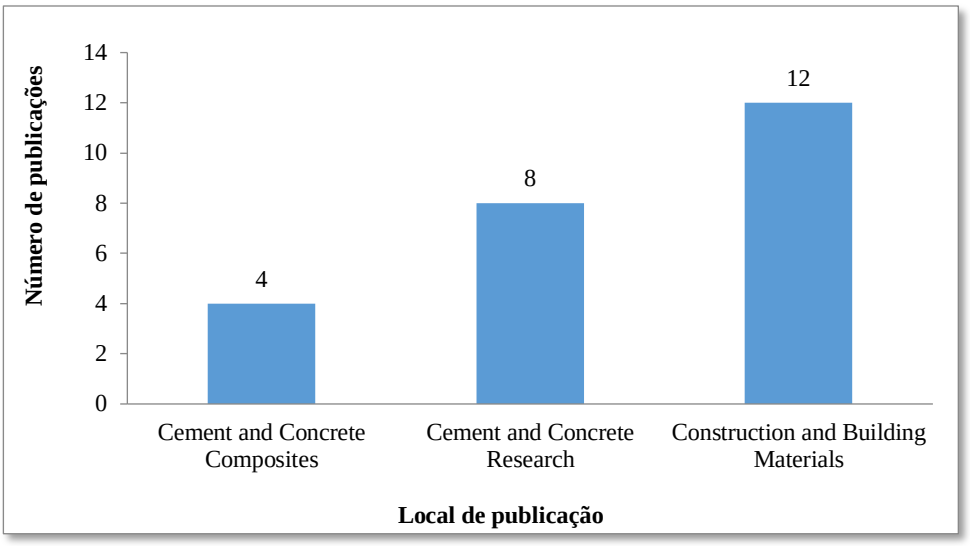
A Figura 5 apresenta o número de artigos a cada ano. O ano de 2020 destaca-se com o maior número de publicações por ano, entre o recorte temporal de 2015 a 2020, e um possível aumento no interesse na área da caracterização química das soluções dos poros do concreto quando relacionados com a carbonatação e ataque por cloretos. Isto pode ter ocorrido pela crescente preocupação com as questões de durabilidade das estruturas de concreto nos últimos anos.

Figura 5 – Classificação de publicações por ano.



Investigou-se ainda as revistas científicas com maior número de publicações relacionados à temática do artigo (Figura 6).

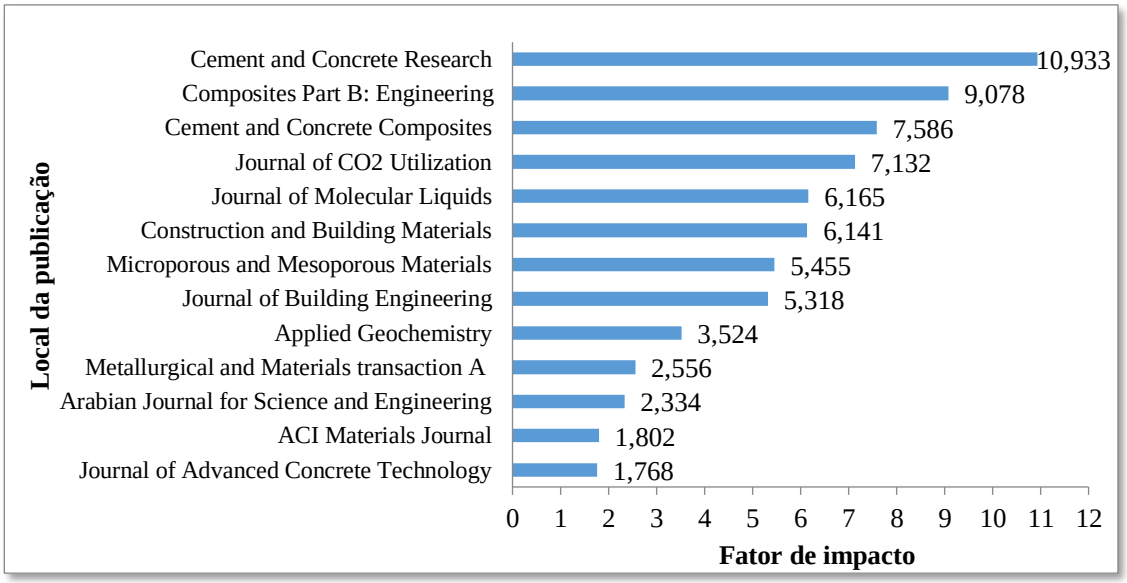
Figura 6 – Classificação por meio de publicação.



Conforme ilustra a Figura 6, as revistas científicas *Construction and Building Materials, Cement and Concrete Research e Cement and Concrete Composites somaram* 24 publicações científicas. Além desses, existiram 14 periódicos importantes que apareceram somente uma vez (Figura 7).

Na Figura 7 são apresentados os periódicos recorrentes e seus respectivos "Fatores de Impacto/ JCR (*Journal Impact Factor*)" das revistas. As publicações de maiores impactos foram a *Cement and Concrete Research* (10,933), *Composites Part B: Engineering* (9,078) e *Cement and Concrete Composites* (7,586). De forma geral, todas as publicações encontradas foram satisfatórias e apresentaram JCR variando de 10,933 até 1,768. Alguns artigos não apresentaram fator de impacto reconhecido pela plataforma de busca.

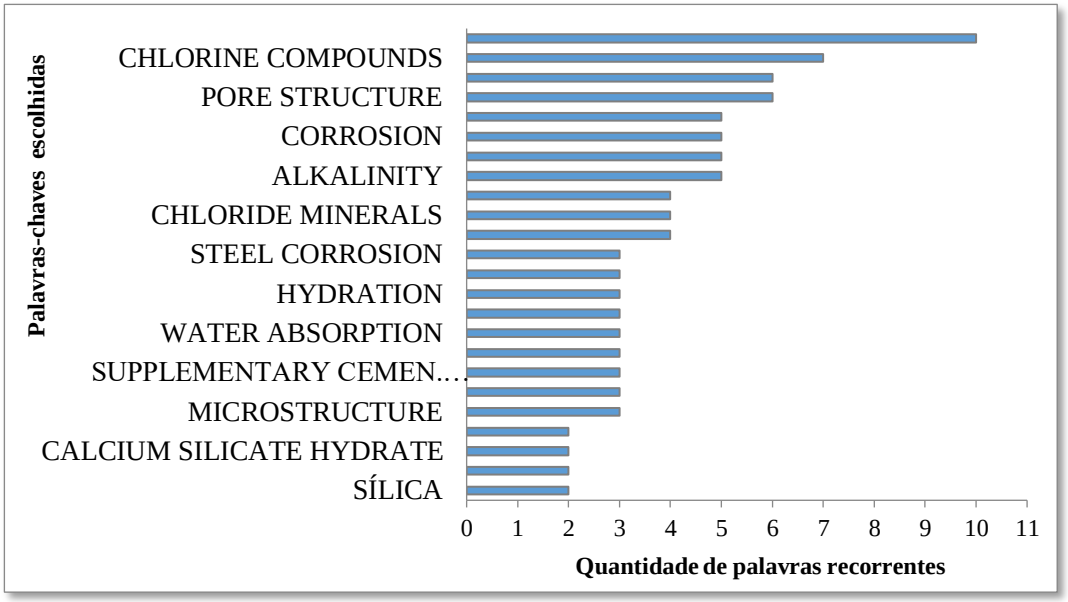
Figura 7– Classificação por Fator de Impacto das revistas científicas.



Fonte: JCR – Journal Impact Factor 2022

O mapeamento da literatura apresentou também as palavras-chave de maior recorrência nos resumos dos artigos (Figura 8). É importante ressaltar que todas as palavras fazem referência de alguma forma ao tema abordado.

Figura 8 – Uso de palavras-chave nos artigos selecionados.



As palavras-chaves mais citadas foram *Chloride* (10), seguida por *Chlorine Compounds* (7). Entretanto, todas as palavras fazem referência à *string* de busca utilizada e estão intimamente ligadas ao presente estudo.

3.2 Resultados relacionados aos principais parâmetros de eletrólitos da solução do poro

A Tabela 2 apresenta uma lista parâmetros mais relevantes, obtidos da literatura consultada. Os efeitos químicos causados pela variação dos tipos e teores de adições mais mencionados foram: determinação de pH, condutividade elétrica, presença e concentração de elementos químicos e concentração de álcalis na água livre dos poros.

Alguns métodos colaboram para uma análise dos produtos formados antes e após os efeitos da carbonatação e ataques por cloretos, além da comparação com concretos de referência, sem adições minerais.

Observando a Tabela 2 e analisando-se o mapeamento dos parâmetros da literatura, percebe-se que há uma variedade de propriedades e até de técnicas para obtê-los. Nota-se também que a composição química da água do poro e seus efeitos na durabilidade do concreto são complexos e que pode ocorrer grandes variações com a presença de agentes agressivos ao longo do tempo. Além dos parâmetros citados, outros, como oxigênio dissolvido, potencial redox, alcalinidade de carbonatos e bicarbonatos podem ser estudados.

Nos artigos selecionados e lidos, foram verificados todos os métodos de ensaios abordados, bem como suas formas de aplicações, variáveis dos métodos e seus efeitos nos resultados, bem como

controvérsias apresentadas. Em alguns artigos foram verificadas as implicações do tempo de cura e a relação água/ligante no concreto, realizando comparações e correlações entre os parâmetros.

Tabela 2 – Utilização de diferentes métodos para a caracterização físico-química da solução do poro.

Parâmetros dos eletrólito da solução dos poros do concreto mais mencionados na literatura consultada*	**N° de publicações que utilizaram o parâmetro**
Efeitos químicos dos teores adições na solução do poro	7
Determinação de pH da solução do poro	6
Condutividade da água do poro	6
Concentração dos álcalis na solução (sódio e potássio)	5
Efeitos da lixiviação na solução do poro	4
Alcalinidade ligada a carbonatação	3
Determinação de cloretos	3
Determinação de cátions e ânions bivalentes	3
Determinação de força iônica	3
Ensaios de termogravimetria para determinação de NaOH	2
Determinação iônica por cromatografia	2
Determinação de cloro livre na solução do poro	2
Salinidade	1
Resistividade elétrica da solução	1
Determinação elementar pela técnica de ICP - *Inductively Coupled Plasma*	1

*2 publicações mencionaram utilizar o método de extração ex situ em concretos submetidos a ataque por cloretos

Entre os parâmetros estudados nos artigos aderidos, algumas observações constatadas puderam ser listadas, como a de que a composição química elementar ou de um composto químico é um parâmetro que apresenta a natureza qualitativa e quantitativa dos componentes inseridos na matriz cimentícia. Ela é um dos parâmetros químicos mais utilizados na caracterização da solução do poro dos concretos e indica que íons Cl^-, SO_4^{-2}, OH^-, Fe^{+3}, $Ca^{+,}$ Mg^+, Al^{+3}, Si, S, K^+, Na^+, como os mais encontrados, analisados por como cromatografia e espectrometria. A maioria desses íons, naturalmente tem origem no tipo de cimento escolhido e das adições minerais utilizadas na produção do concreto.

Outra informação importante é a de que a caracterização das espécies químicas na fase aquosa do concreto envolve principalmente a determinação de íons Ca^{2+}, Na^+ , K^+ , OH^- e SO_4^{2-}, os quais são influentes na cinética de hidratação (VIEIRA *et al.*, 2020). Plusquellec *et al.* (2017) também demonstraram que íons hidroxila (OH^-), potássio (K^+) e sódio (Na^+) são os íons de maiores concentrações encontradas na solução do poro do concreto. Assim, a análise elementar completa de todos os elementos químicos presentes nas soluções dos poros é de fundamental importância para se ter um aspecto global da composição do poro. O conhecimento quantitativo desses íons é essencial para entender o princípio das reações que irão ocorrer no concreto em idades posteriores.

Outros parâmetros encontrados com foram a condutividade, pH e força iônica. Andersson *et al.* (1989) afirmaram que a condutividade elétrica é um parâmetro influenciado pelas reações de troca iônica com as fases sólidas do concreto e representa a facilidade ou dificuldade de passagem de corrente elétrica na água do poro. Este parâmetro depende da quantidade de sais dissolvidos na

água do poro e é proporcional a sua quantidade. Portanto, sua determinação permite estimar de modo rápido a quantidade de sólidos totais dissolvidos (DI BERNARDO, 2005).

Além disso, fica evidenciado em alguns trabalhos que, com o uso das adições minerais, a condutividade é reduzida, como consequência da redução da porosidade, das reações pozolânicas dos íons disponíveis e também da força iônica. Apesar de muito conhecido na literatura, a condutividade elétrica superficial do concreto não reflete apenas as características físicas da microestrutura, mas também das características químicas da solução do poro (CASCUDO *et al*. 2021).

Shi (2004) confirmou essa afirmação mostrando que a medição da condutividade elétrica do concreto depende da tanto as características da estrutura dos poros quanto da química da solução aquosa do poro do material cimentício, confirmando também que vários fatores podem afetar esse parâmetro, como composição do cimento e substituição de cimento por materiais cimentícios suplementares.

Cascudo *et al.* (2021) relataram ainda que o concreto não carbonatado possui uma capacidade de condução iônica significativamente maior do que o concreto carbonatado, mostrando que o efeito da carbonatação diminui a condutividade elétrica da água do poro e que as adições minerais também causam essa diminuição. Park (2020) observou o efeito da carbonatação de concretos com cimentos de altos teores sulfoaluminato de cálcio e com escória de alto forno ou cinza volante, fornecendo informações importantes sobre as mudanças que são induzidas pela carbonatação, como o pH, condutividade e a cinética dos produtos de hidratação. Os resultados da pesquisa indicaram que a incorporação de escória reduziu a quantidade de produtos de hidratação e aumentou a carbonatação, consequentemente, modificou os parâmetros químicos da fase líquida do concreto.

Outros estudos demonstraram a eficiência das adições minerais. Zheng *et al.* (2020) verificaram os mecanismos da passivação química na superfície das barras de aço utilizando nano-sílica, os resultados mostraram que a passivação da barra de aço em pasta de cimento foi controlada pela química da solução do poro e pela evolução ao longo do tempo, e que estão intimamente associados ao processo de hidratação do cimento, demonstrando que a nano-sílica leva à formação de um filme passivo mais espesso com maior proporção de óxidos de Fe^{2+}.

Zhu *et al.* (2020) fizeram caracterizações em diferentes tempos de cura em cimentos contendo escória ativada por álcali. Em outro estudo, Zhu *et al.* (2020) constataram o efeito da sílica ativa e das cinzas volantes na estabilidade dos cloretos ligados em argamassa de cimento durante a extração eletroquímica de cloretos.

A maioria dos estudos encontrados abordou a influência dos íons cloretos na parte líquida do concreto. Yi *et al.* (2020) realizaram uma revisão sobre a deterioração das armaduras em ambientes marinhos e as abordagens para se aumentar a durabilidade das estruturas de concreto. Van Niejennhuis *et al.* (2020) investigaram o comportamento da corrosão de barras de aço analisando a solução do poro, levando em consideração a influência de diferentes cimentos, com e sem adição de cloretos, variando R a/c e uso de materiais cimentícios suplementares, mostrando a influência dos cloretos adicionados.

Segundo Yong *et al.* (2020), a interação entre hidratos e íon cloreto pode levar à formação de sais de Friedel, sendo que a etringita expansiva pode ser inibida na presença desses íons e o íon magnésio pode substituir o cálcio na Portlandita e reduzir a alcalinidade da água do poro e,

eventualmente, desestabilizar o gel de C-S-H. Portanto, pesquisas indicam que várias reações podem ocorrer em decorrência dos íons disponíveis em solução.

Crerif *et al.* (2020) observaram os efeitos da lixiviação e da migração de cloretona microestrutura e na solução de poros de pastas de cimento durante teste de migração de cloretos, verificando o equilíbrio termodinâmico e a transferência das espécies químicas de modo a estimar a cinética de liberação de cálcio e a quantidade de portlandita dissolvida no material, que foi possível através de análises elementares e quantitativas.

Foram obtidos da revisão de literatura muitos métodos de extração da solução do poro do concreto (VIEIRA *et al.*, 2020; TIBBETTS *et al.*, 2020; VAN NIEJENHUIS *et al*., 2020; CASCUDO *et al.*, 2021; BAGHERI, 2022). No entanto, devem ser mais estudadas, pois através delas a composição química dos poros é determinada, e cada uma delas possui suas particularidades que afetam os resultados dos ensaios, portanto, fazer a comparação dos métodos é fundamental. Ex. de extrações: lixiviação *ex situ*, lixiviação *in situ*, água de equilíbrio e extração por pressão.

A água de poro está presente no interior do concreto em contato direto com a armadura, portanto deve ser considerada na análise da dinâmica desse sistema. Não existe normatização brasileira ou internacional para os procedimentos de extração, apenas modelos propostos por autores, entretanto deve ser realizada com cuidados específicos, e sua composição consiste principalmente de hidróxidos de sódio, potássio e cálcio, o que garante seu elevado pH (VIEIRA *et al.*, 2020).

4. CONCLUSÕES

Com base na revisão da literatura sobre os principais parâmetros de eletrólitos da solução do poro em concretos submetidos ao ataque por cloretos ou por carbonatação, pode-se listar as seguintes conclusões:

1) a Revisão Sistemática da Literatura – RSL conseguiu identificar as principais vertentes e os pontos mais relevantes no tema estudado;

2) o mapeamento dos autores recorrentes e os países de origem dos trabalhos demonstram uma tendência contemporânea dos estudos, evidenciando o grande aumento das publicações de origem chinesa. Parece haver um aumento significativo da temática nos últimos anos (2020-2022);

3) com relação aos periódicos e suas classificações, é possível observar que o periódico com o maior índice de publicação (*Cement and Concrete Research*) é também o que tem o maior fator de impacto (10,933). Isto evidencia que o nível de publicação abordada é satisfatório, levando em consideração o fato de que a maioria dos outros periódicos também tem alto fator de impacto;

4) as palavras-chave encontradas foram adequadas à *string* de busca e trouxe uma resposta parcial a questão do *mapping*, ou seja, foram identificadas várias alterações químicas na solução do poro do concreto com o uso de adições minerais, quando submetidos ensaios acelerados, alterações constatadas pelos parâmetros físico-químicos analisados nas pesquisas encontradas;

5) há uma variedade de propriedades e até de técnicas para obter os parâmetros físico-químicos da solução dos poros do concreto;

6) efeitos químicos causados pela variação dos tipos e teores de adições mais mencionados pela literatura foram determinação de pH, condutividade elétrica, presença e concentração de elementos químicos e concentração de álcalis na água livre dos poros.

7) parâmetros dos efeitos da lixiviação na solução do poro, determinação de cloretos, determinação de cátions e ânions bivalentes, determinação de força iônica, ensaios de termogravimetria para determinação de NaOH, determinação iônica por cromatografia, determinação de cloro livre na solução do poro, salinidade, resistividade elétrica da solução e determinação elementar pela técnica de ICP - *Inductively Coupled Plasma* também foram mencionados nos artigos aderidos e

8) pesquisas futuras são necessárias para melhorar o entendimento completo da composição química da solução do poro e para uma melhor compreensão do desempenho do concreto frente à durabilidade em ambientes agressivos. Entretanto, os resultados deste presente estudo podem servir como uma base sólida para a investigação futura sobre o desempenho da durabilidade do concreto em ambientes agressivos.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. J .O. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão das armaduras: iniciação por cloretos**. 2001. Tese (Doutorado) -, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2001

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: Inspeção e técnicas eletroquímicas. 1. ed.** São Paulo: PINI; Goiânia: Editora UFG, 1997. 237 p.

CASCUDO, O.; PIRES, P.; CARASEK, H.; CASTRO, A.; LOPES, A. Evaluation of the pore solution of concretes with mineral additions subjected to 14 years of natural carbonation, **Cement and Concrete Composites**, Volume 115, 2021, 0958-9465, https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103858.

CASCUDO,O. Inspeção e diagnóstico de estruturas de concreto com problemas de corrosão da armadura.In: ISAÍA, G. C. (ed), **Concreto: ensino, pesquisa e realizações** – São Paulo: IBRACON, 2005.P. 1071-1108. \Capítulo 35\.

CIR, M.; RIVARD, P.; LABRECQUE, F.; DAIDIÉ, A. Dispositivo de alta pressão para extração de fluidos de materiais porosos: aplicação em materiais cimentícios**. Journal of American Ceramic Society**, v. 91, n° 8, p. 2653-2658, 2008.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2° ed. São Carlos. Editora: RiMa, 2005.

FABBRI, S., OCTAVIANO, F., SILVA, C., Di THOMMAZO, A., HERNANDES, E.,and BELGAMO, A. (2016). **Improvements in the Start tool to better support the systematic review process.** In Proc. of the 20th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE'16), Limerick, Ireland, June 2016.

GALVÃO T. F, PEREIRA M. G. **Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração**. Epidemiol Serv Saúde. 2014 jan-mar;23(1):183-4.

KHAN, K., RIET, G., GLANVILLE, J., SOWDEN, A., KLEIJNEN, J. **Undertaking Systematic Reviews of Research on Effectiveness: CRD's Guidance for those Carrying Out or Comissioning Reviews. NHS Centre for Reviews and Dissemination**, University of York, 2001.

KITCHENHAM B. CHARTERS, S. **Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews inSoftware Engineering**. EBSE Technical Report, EBSE-2007-001, 2007.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: **microestrutura, propriedades e materiais**. HASPARYK, N. P. (Ed. Trad.). 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 782 p. ISBN: 978-85-98576-21-3.

MORENO, M.; MORRIS, W.; ALVAREZ, M.G.; DUFFÓ, G.S. Corrosion of reinforcing steel in simulated concrete pore solutions: Effect of carbonation and chloride content. **Corrosion Science**, v. 46, p. 2681-2699, 2004.

MOTA, J. M. F; BARBOSA, F. R; COSTA e SILVA, A. J; FRANCO, A. P. G; CARVALHO, J.R. **Corrosão de Armadura em Estruturas de Concreto Armado devido ao Ataque de Íons Cloreto**. 54 Congresso Brasileiro do Concreto. Maceió-2012

MOTA, J. M. F; PONTES, R. B; CANDEIAS NETO, J. A; OLIVEIRA, M. F; ALMEIDA, H. T; CARNEIRO, A. M. P. **Analise das Patologias em Estruturas de Concreto na Zona Litorânea da Cidade do Recife – PE.** X Congresso Latino-americano de Patologia – CONPAT. Valparaiso – Chile. 2009.

OLENA, K.; YELENA, K.; MAKSIM, B. **The impact of the COVID-19 pandemic on the creative industries: A literature review and future research agenda. Journal of business research** [0148-2963] Khlystova, Olena Ano: 2021 v.:139 p.:1192 -1210

OLIVEIRA, A. M.; CASCUDO, O. Effect of mineral additions incorporated in concrete on thermodynamic and kinetic parameters of chloride-induced reinforcement corrosion. **Construction and Building Materials**, v.192, p 467-477. 2018.

OLIVEIRA, C.T.A. **Água do poro de pastas de cimento de escória**. 2000. 178 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PETERSEN, K.; FELDT, R.; MUJTABA, S.; MATTSSON, M. **Systematic Mapping Studies in Software Engineering**.12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, 2008.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of management.** v 14, 207-222, 2003.

TUUTI, K. Corrosion of Stel in Concrete. Stokholm, 1982. **Cement and Concrete Research**, Fo nº 504.

VIEIRA, R. E. MENNUCCI, M. M.; QUARCIONI, V. A; MELO, H. G. A extração e caracterização da água de poro nos estudos de durabilidade de armaduras de concreto usando técnicas eletroquímicas. **Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo, v. 7, n. 1, p. 56-70, 2020.